

## 吸着性物質のカラム試験及びCTRWパラメータ選定に関する研究

### A column test of adsorptive material and study of parameter setup of CTRW

神尾 優仁<sup>1</sup>, 小田桐 康<sup>1\*</sup>, 山川 素子<sup>1</sup>, 羽田野祐子<sup>1</sup>

Yuto Kamio<sup>1</sup>, Ko Odagiri<sup>1\*</sup>, Motoko Yamakawa<sup>1</sup>, Yuko Hatano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑波大学大学院

<sup>1</sup>Graduate school of Tsukuba

#### 1.目的

近年、法整備や社会情勢などにより土壌・地下水汚染の問題が深刻化する中、汚染のリスクマネジメントや汚染物質除去技術を適用する際に、その拡散を正確に予測する事が経済的にも工学的にも重要となっている。従来土壌における汚染物質挙動の予測は、移流分散方程式(ADE)と呼ばれるものが用いられて来たが、Adams and Gelharによるフィールド実験[1]の結果などにより物質移動の予測モデルとして適切ではないと言われている。特に、長期間に渡って低濃度な分布が広がるテーリングや分散係数の距離依存性などが問題点として挙げられている。これらの現象は異常拡散と呼ばれており、特に吸着性の汚染物質の拡散予測に関して未解明の点が多い。そこで、本研究では重金属の土壌への拡散および吸着現象に着目し、非吸着性および吸着性トレーサーを用いた同一条件におけるカラム試験を行い、吸着性物質の拡散挙動の調査と比較を行った。さらに連続時間ランダムウォークモデル(CTRW)を用いてそれらの実験を説明し、フィッティングを行うと共にそのパラメータの考察を行った。

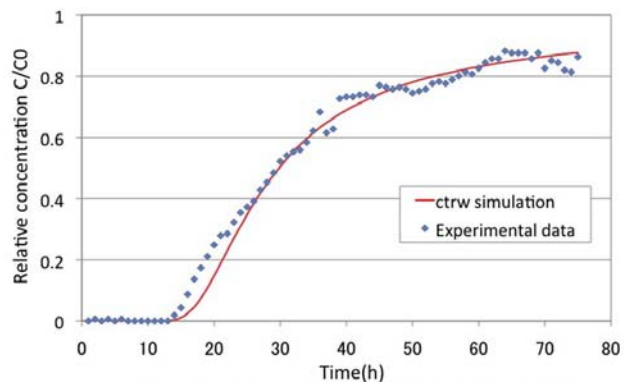


Fig 1. Break through curve of Pb fitted by CTRW

#### 2.理論

CTRWは異常拡散を現す新たな支配方程式として提案されており、塩化物イオンや臭化物イオンにおいて有効性が確認されている[2]。異常拡散は系の不均一性によって引き起こされる。CTRWでは、これらの不均一性を表すものとして各ジャンプの起こる前にそのサイトに留まる時間(待ち時間)に分布を持たせ、 $P(x,t)$ を待ち時間  $\tau$  の後に距離  $x$  だけジャンプする確率として利用する。本研究では遷移を表す  $P(x,t)$  の場所依存性を省略し、先行研究[3]より待ち時間関数として次のような離散化した関数を使用する。

$$P(t) = At^{-a}$$

$P(t)$ は確率密度関数であるので、定数  $A$  によって規格化される。そのため流速分布や吸着強さの分布の大きさによって定数  $A$  は変化する。式中の  $a$  の値は系の挙動に深く関わっており、 $a$  の値により系が通常の拡散で表されるか否かが決まる。 $a > 3$  の場合、系は通常の拡散方程式で表される挙動を示し、 $a < 2$  では系は異常拡散という通常拡散とは非常に異なる挙動を示す。 $2 < a < 3$  の場合は通常拡散と異常拡散の中間的な挙動を示す。

### 3.実験

汚染物質の拡散を観察する実験として、カラム試験を行った。直径31mmの塩ビ管に豊浦標準砂を水中落下法により充填し、非吸着性トレーサー及び吸着性物質を一定流量で注入する。カラム下部から流出した溶液を一定時間ごとに回収し、その濃度を測定する。使用する物質は、非吸着性トレーサーとして塩化ナトリウムを、吸着性として亜鉛と鉛の2種類を用い、吸着の強弱による挙動の変化を見る。

### 4.結果

カラム試験により得られたデータを元に、横軸に経過時間、縦軸に濃度比をとったグラフを描く。吸着性物質を用いた場合、異常拡散の特徴を現すテーリングが発生した。図1は鉛を用いたカラム試験結果をCTRWによりフィッティングした結果であり、吸着性物質の異常拡散を精度よく現す事が出来た。異常拡散の強度は物質によって差がある事が確認されたが、どの物質も汚染物質拡散予測への適用可能性が示された。

フィッティングを行う上で、異常拡散の発生原因は流路の不均一性と吸着強さの不均一性の2種類が存在する事が分かった。流路の不均一性とは、砂層の詰まり具合により発生する空隙径の大きさや間隙における速度分布の発生などが原因で起こる遅延であり、吸着の不均一性とは吸着ポテンシャルの大きさや流れの中での脱離、空隙形態が原因で起こる吸着に起因する遅延を意味する。また、物質によって両者の不均一性の異常をもたらす割合が変化する事が分かった。

1)Adams,E.E,and L.W.Gelhar.:Field study of dispersion in a heterogenous aquifer,2,spatial moment analysis,Water Resour.Res.,Vol28(12),pp.3293-3308,1992.

2)Margolin, Gennady ; Dentz, Marco ; Berkowitz, Brian: Continuous time random walk and multirate mass transfer modeling of sorption ,Chemical physics. 295, no. 1, 2004

3)Monte Carlo simulation and date analysis of anomalous diffusion of the continuous time random walk model,Y.Hatano,N.Hatano,in preparation

キーワード:土壌汚染,異常拡散,連続時間ランダムウォーク,吸着,不均質性,重金属

Keywords: soil pollution, anomalous transport, continuous time random walk, adsorption, heterogeneity, heavy metal